Nr. 10. Warszawa, 2 października 1928 r. Rok VI.

TECHNIKA CIEPLNA

Czasopismo Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie.
Oficjalny Organ Polskiego Komitetu Normalizacyjnego dla Spraw Kotłowych.

Redaktor: Inż. techn. **JAN KOMARNICKI.**
Wydawca: **Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.**
REDAKCJA i ADMINISTRACJA: Warszawa, Chmielna 2, m. 6. Tel. 275-45.
GODZINY BIUROWE: Redakcji—piątki, od 18 do 20, Administracji—codziennie, od 10 do 15.

JAN OBRĄPALSKI, inż.

KILKA UWAG W SPRAWIE ELEKTRYFIKACJI POLSKI.

Polska przez długi jeszcze czas pokrywać będzie swoje zapotrzebowanie energji elektrycznej, niestety, prawie wyłącznie z węgla kamiennego. Pozatem przemysł węglowy jest w Polsce największym wytwórcą i spożywcą prądu, a jednocześnie największym odbiorcą maszyn i wyrobów przemysłu elektrotechnicznego. Już w r. 1923 moc zainstalowana w elektrowniach kopalnianych, spożycie prądu *kWh* przez kopalnie, produkcja węgla i spożycie prądu na 1 tonę wydobytego węgla osiągały cyfry podane w tabeli 1. Tabela ta nie zawiera części mocy elektrowni w Chorzowie, przypadającej na potrzeby ok. 28 przyłączonych kopalń; moc tę szacuję na ok 40000 *kW*.

TABELA I.

	Moc elektrowni *kW*	Spożycie energji *kWh*	Wydobycie miljon. *t*	Spożycie *kWh/t*
Górny Śląsk	199.245	411.720.050	26,63	15,4
Zagł. Dąbrowskie	44.625	103.306.000	7,42	14,0
„ Krakowskie	23.828	36.664.000	2,05	18,3
	266.698	551.690.050	36,10	15,3

TABELA II.

Rodzaj maszyn	Razem Parowe *KM*	Razem Elektr. *KM*	%	Górny Śląsk Parowe *KM*	Górny Śląsk Elektr. *KM*	Zagł. Dąbrowskie Parowe *KM*	Zagł. Dąbrowskie Elektr. *KM*	Zagł. Krakowskie Parowe *KM*	Zagł. Krakowskie Elektr. *KM*
Pompy	46.621	169.130	81	18.995	126.729	16.653	29.596	6.973	12.805
Wyciągi	92.214	41.960	32	76.325	31.748	13.373	9.023	4.516	1.189
Sprężarki	81.033	46.424	36	73.276	37.290	2.577	5.342	5.180	3.892
Wentylatory.	2.013	15.267	89	1.943	11.932	70	2.354	—	981
Inne.	35.593	132.281	79	20.076	122.209	5.665	8.250	852	1.822
Razem . .	253.474	405.162	—	199.615	329.908	36.338	54.565	17.521	20.689
% zelektryfikowania . . .	61,5			62,5		60		57	

Stopień zelektryfikowania kopalń polskich widoczny jest z tabeli II, zawierającej moc zainstalowanych silników parowych i elektrycznych w 1926 roku.

Z tabeli tej widać, że najmniej zelektryfikowane są wyciągi i sprężarki. Elektryfikację wyciągów niezawodnie wstrzymała wojna i jej skutki gospodarcze. Gdyby nie to, utrzymywanie

w ruchu tych „pożeraczy pary“, pracujących w większości wypadków jeszcze na wydmuch i spożywających po 40 *kg* pary na użytkowego konia szybowego i godzinę, napewno byłoby w szybkiem tempie zlikwidowane; prócz tego ostatnie zwłaszcza lata coraz częściej zadają kłam utartemu twierdzeniu o pewności ruchu i „nieśmiertelności“ maszyn wyciągowych, parowych, bo oto na kopalni *A* po 30 latach pracy pękł główny wał średnicy 400 *mm*, na kopalni *B* w ciągu dwóch lat dwukrotnie pękło tłoczysko grubości 200 *mm* na klinie w krzyżulcu, na szybie *C* wskutek wody w cylindrze pękła rama bagnetowa, na kilku innych szybach wskutek niedostatecznego opanowania i zautomatyzowania sterowania maszyny klatka wyjechała do wieży pociągając za sobą straty materjalne i przerwę w wydobyciu. Przyczyną niewielkiego stopnia zelektryfikowania kompresorów jest głównie ta okoliczność, że wytwarzanie sprężonego powietrza jest zwykle scentralizowane w pobliżu głównej kotłowni i proces wytwarzania na drodze turbina-kompresor jest tańszy i pod względem kosztów instalacji i kosztów ruchu od procesu na drodze turbina—prądnica—silnik—kompresor; dopiero przy większych odległościach przenoszenia energji proces ostatni może się opłacać.

Tabela II daje przybliżoną pojemność rynku elektrycznego w kopalnictwie węglowem t. j. moc silników elektrycznych, które w nabliższej przyszłości przy pomyślnych konjunkturach będą mogły zastąpić przestarzałe maszyny parowe, ruch taki rozpoczął się już obecnie przedewszystkiem dla kolejek piaskowych. Na pojemność tę składają się jeszcze silniki nowe, które zastępują stare zniszczone i których ilość szacuję na 1% — 2%, rocznie oraz silniki dla urządzeń nowych, uzależnionych od rozwoju kopalń.

TABELA III.

Kopalnie	Ogółem	Górny Śląsk	Zagł. Dąbr.	Zagł. Krak.
Brały prąd z elektrowni obcych	55	39	10	6
W tem z okręgowych	32	28	2	2
„ „ z innych	23	11	8	4
Wytwarzały prąd same	32	18	9	5
W tem pracowały równolegle z inemi	15	11	3	1
W tem pracowały osobno	17	7	6	4
Ilość elektrowni okręgowych	4	2	1	1
Moc elektrowni okręg., tys. *kW*	141	109	22	10

Tabela III ilustruje sposoby pokrycia zapotrzebowania prądu przez kopalnie, jak również charakter pracy zakładów wytwórczych; widać z niej, że 1) stopień scentralizowania wytwarzania energji jest znaczny, gdyż 55 kopalń brało prąd z zewnątrz, a w tem 28 kopalń z jednego Chorzowa, i 2) spółdziałanie elektrowni jest również zapoczątkowane, gdyż 15 elektrowni pracowało lub mogło pracować równolegle z innemi.

TABELA IV.

Moc zainstalowana i obciążenie elektrowni powyżej 5000 *kW* w zagłębiach węglowych.

	Generatory	Kotły	Woda	Obciążenie
Górny Śląsk	343.000	300.000	280.000	180.000
Zagłębie Dąbrowskie	64.000	62.000	53.000	26.000
Zagłębie Krakowskie	44.000	36.000	30.000	15.000
Razem	451.000	398.000	363.000	221.000

Niestety współpraca ta nie była jeszcze należycie zorganizowana, czego dowodzą liczby tabeli IV, gdzie dla elektrowni o mocy generatorów powyżej 5000 *kW* (nietylko kopalnianych) podana jest zainstalowana i osiągalna moc generatorów, kotłów i urządzeń dostarczających wodę do kondesatorów, z drugiej zaś strony największe trwałe obciążenia.

Z tabeli tej widać, że najmniejsza osiągalna moc sumaryczna elektrowni (363000 *kW* przekracza o 65% zapotrzebowanie, gdy w rzeczywistości wszystkie prawie poszczególne elektrownie obciążone są prawie do ostateczności. Wypływa to głównie z nieskoordynowania w poszczególnych zakładach wielkości poszczególnych elementów instalacji (jednemu brak kotłów, drugiemu wody do kondensacji i t. d.), częściowo zaś ze skażenia obrazu przez obciążenie statystyki staremi gratami powyżej 15 lat, stanowiącemi już tylko rezerwy cenne choć nieekonomiczne i nienadające się do dłuższej niezawodnej pracy. Takich inwalidów jest w generatorach ok. 110000 *kW*, w kotłach ok. 100000 *kW*, czyli po wprowadzeniu tej poprawki otrzymujemy następujące moce sumaryczne urządzeń wieku 15 lat i mniej:

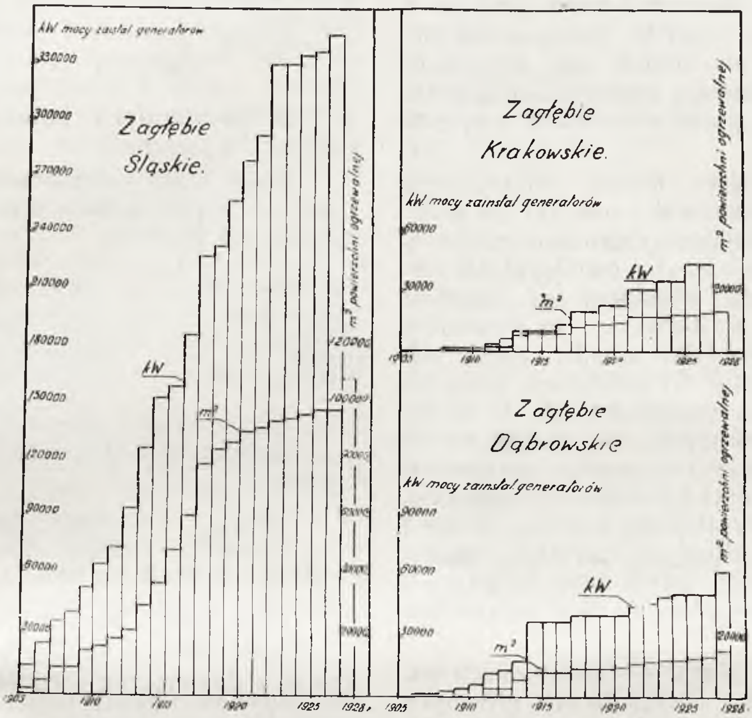
generatory	kotły	woda	obciążenie
340000	300000	363000	221000 *kW*

Pozostała jeszcze dysproporcja ma źródło, powtarzam, w braku zorganizowanej wspólnej gospodarki, przy istnieniu której możnaby jeszcze swobodnie bez wydatków inwestycyjnych podnieść zdolność wytwórczą o jakieś 80000 *kW*. Smutna rzeczywistość ostatniego roku tezę moją potwierdza: nietylko zapotrzebowania 15000 *kW* dla przemysłu chemicznego, lecz nawet 5000 *kW* zakłady nie mogły pokryć bez znacznych inwestycyj. Tabela V podaje wiek generatorów i kotłów zainstalowanych w owych większych elektrowniach zagłębi węglowych.

Tak sprawy stały w końcu roku 1927, gdy rozwijający się silnie przemysł chemiczny (azotownie, cynk) zażądał ok 30000 *kW*. Skłonić właścicieli poszczególnych elektrowni do „pracy równoległej“ trudniej jest znacznie, niż poczciwe maszyny, co wiem z własnego doświadczenia, to też sprawy poszły w kierunku najprostszym, najprędszym i dla kraju może najkorzystniejszym: rozpoczęto budowę wielkiej nowoczesnej siłowni w Górnych Łaziskach. W Łaziskach po raz pierwszy zastosowane będzie w wielkim stylu opalanie kotłów pyłem węglo-

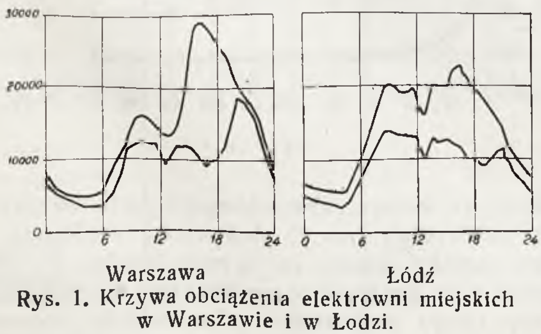
wym (4 kotły po 1100 m²), po raz pierwszy staną turbozespoły po 40000 *kVA*, 28000 *kW*, poraz pierwszy przyłączone będą do sieci 60 *kV* 2 transformatory trójfazowe po 40000 *kVA* i kilka po 20000 *kVA*. Jest to duży krok naprzód, wprowadzający nas do gospodarki elektrycznej światowej w wielkim stylu.

TABELA V.



Jednocześnie i inne zagłębia ujawniają żywe ambicje prądotwórcze. Kopalnie Jaworznickie podejmują dostawę prądu do Krakowa (60 *kV*, 60 *km*). W zagłębin Dąbrowskiem tworzy się Związek Elektrowni Kopalnianych, o mocy zainstalowanej 60000*kW*, Elektrownia Okręgowa w Sosnowcu rozpoczyna dostawę prądu na całej przestrzeni uprzemysłowionej od Sosnowca do Częstochowy (35 *kV*, 80 km), a zapotrzebowanie prądu rośnie tu tak szybko, że moc jej własna nie wystarcza i zawiera ona umowy z okolicznemi kopalniami o jego dostawę.

W innych częściach kraju (Warszawa, Łódź, Poznań, Gródek, Kielce i t. d.) rozwój elektrowni i linij dalekonośnych przyśpiesza również znacznie tempa, podążając za ogólnym rozwojem życia przemysłowego. Przy tych konjunkturach uważam, że sytuacja dojrzała w zupełności do ukoronowania tego ruchu elektryfikacyjnego, do

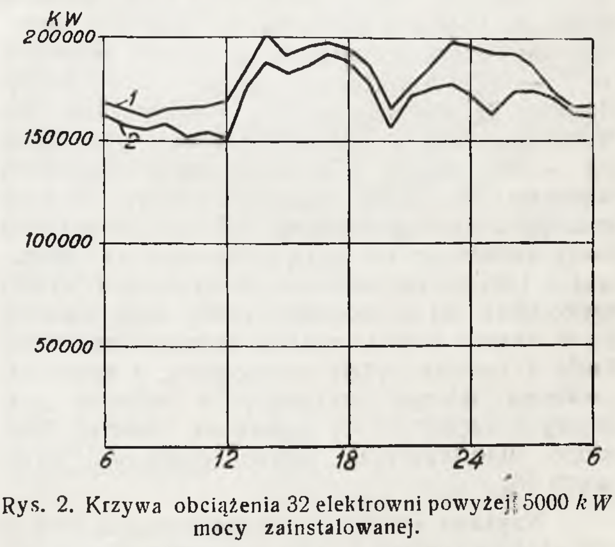


Warszawa Łódź

Rys. 1. Krzywa obciążenia elektrowni miejskich w Warszawie i w Łodzi.

stworzenia linji dalekonośnych międzydzielnicowych, podziału ról przy pokrywaniu obciążeń podstawowych i szczytowych, wreszcie utrzymywania wspólnych rezerw.

Jak widać z krzywych obciążenia elektrowni miejskich w Warszawie i Łodzi dla dnia zimowego i letniego (rys. 1) potrzebne moce można zupełnie wyraźnie podzielić na moce podstawowe o czasie użytkowania w roku ok. 5500 godzin, wynoszące dla Warszawy 12000 *kW* i dla Łodzi 12000 *kW*, oraz na moce szczytowe, wynoszące dla Warszawy 18000 *kW* przez 780 godzin i dla Łodzi 11000 *kW* przez 1300g odzin. Oczywiście są to ilości przybliżone, które mogły być oszacowane na zasadzie posiadanego skromnego materjału statystycznego. Wielkości te do czasu urzeczywistnienia projektów połączeń (2—3 lat) zapewne wzrosną: dla Warszawy do 18000 lub 25000 *kW* i dla Łodzi do 18000 lub 16000 *kW*, a jeżeli dodać część prądu dla tramwajów, to linja dalekonośna zasilająca te miasta prądem podstawowym prowadziłaby już od początku moc ok. 40000 *kW* przez 5500 g. w roku. Pokrycie tego prądu podstawowego o dużym stopniu wyzyskania wydaje mi



Rys. 2. Krzywa obciążenia 32 elektrowni powyżej 5000 *kW* mocy zainstalowanej.

się najwłaściwszem z tanio produkujących dużych elektrowni zagłębia węglowego.

Rys. 2 przedstawia krzywa obciążenia 32 elektrowni (ponad 5000 *kW*) Zagłębia węglowego krzywa 1 oznacza obciążenie zimowe, krzywa 2 — obciążenie letnie.

Koszt produkcji elektrowni publicznych i prywatnych traktowany jest u nas jako tajemnica handlowa i dlatego panują o nim przesadne i śmieszne pojęcia. Piszącego te słowa odwiedził w roku zeszłym w sprawie nabycia prądu elektrycznego pewien inżynier z centralnych okręgów przemysłowych, którego poinformowano „w Warszawie", że tu można kupić prąd po 1 groszu obiegowym za 1 *kWh*! Jednocześnie słyszy się, zwłaszcza na arenie rad miejskich, głosy świętego oburzenia z powodu „niesprawiedliwego" wyceniania prądu dla światła i dużych mocy.

Elementy składowe kosztu ostatecznego prądu dla światła zilustrował i obliczył na przykładzie inż. Lulofs, dyrektor elektrowni miejskiej w Amsterdamie, spolszczył i przeliczył dla naszych warunków inż. Altenberg na Zjeździe Związku Elektrowni w Toruniu. Do wywodów jego dodać chcę jedną tylko zasadę: każdy odbiorca powinien dostać od elektrowni prąd taniej niż sam go może wyprodukować. O ile by różni doktrynerzy próbowali nie godzić się na naukową klasyfikację i obciążanie spożywców prądu według wielkości i rodzaju ich spożycia, to argument ten, wyrażający zwykłą życiową zasadę, iż nikt przy zdrowych zmysłach nie będzie za nic przepłacał, jeżeli może to gdzieindziej nabyć taniej — powinien ich ostatecznie rozbroić.

Koszt produkcji prądu w elektrowniach kopalnianych składa się z następujących głównych czynników: 1) kosztu kapitału, amortyzacji, naprawy i części zapasowych, obsługi i pensji urzędniczych, podatków, świadczeń socjalnych i t. d. 2) kosztu paliwa, materjałów potrzebnych do biegu jak smary, czyściwo i t. d., wreszcie wody do kotłów i kondensacji. Kapitały inwestycyjne uzyskuje obecnie przemysł prywatny za 7 — 8%. Amortyzację przyjęto liczyć dla budynków 2%, dla maszyn 8,5%, ponieważ zaś budynki stanowią w całkowitym koszcie elektrowni 25 — 33%, średnio więc amortyzacja elektrowni wyniesie 7%; jeżeli zważyć, że kotły i turbiny pracują z powodzeniem do 15 lat i że przytem kotły zasadniczo nie tracą z wiekiem na sprawności, turbiny zaś zależnie od systemu i jakości wykonania od 10 do 20%, jeżeli dalej zważyć, że w okresie piętnastoletnim znaczna ilość części kotła i turbiny będzie wymieniona, a koszt odnowienia takiego wykazany w rubryce „naprawy i części" — to spokojnie można brać stopę amortyzacyjną całych elektrowni parowych 6%.

Naprawa i części i zapasowe wynoszą średnio 2%, obsługa i pensje 2% (dla Warszawy i Łodzi 3%), smary i czyściwo 0,5, podatki i świadczenia i t. d. 3%.

Suma tych wszystkich składników, zależnych prawie wyłącznie od mocy elektrowni, wynosi więc ok 21% od całkowitego kosztu elektrowni.

Koszt całej elektrowni składa się średnio z następujących czynników:

budynki	25%	
kotły	24%	(wzrastają wraz z wzrostem elektrowni)
turbiny	26%	(spadają wraz z wzrostem elektrowni)
rurociągi	6%	
chłodnie	3%	
dowóz węgla	6%	
rozdzielnia i transformat.	10%	
	100%	

W tem kotły i turbiny stanowią połowę kosztów ogólnych.

Koszt kotła stromurowego z ekonomizerem i rusztem z podmuchem wynosi w przybliżeniu zależnie od wielkości

dla powierzchni	400	500	700	1000	*m*
pary na godz.	14	18	25	36	*tn*
dla mocy	2000	3000	4200	6000	*kW*
ogółem	230000	300000	420000	570000	zł.
czyli na 1 *kW*	115	100	100	95	zł.

Obmurowanie i montaż kosztują ok 25%.

Koszta turbogeneratora jednoosłonowego wynosi:

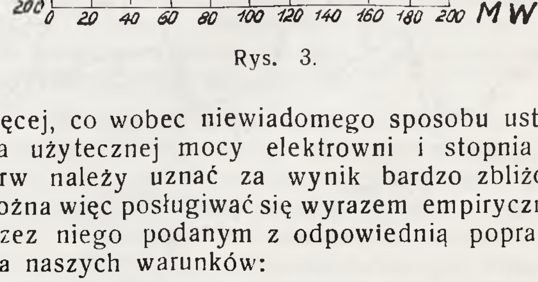
dla mocy	2000	5000	10000	*kW*
ogółem	280000	420000	700000	zł.
czyli na 1 *kW*	140	84	70	zł.

Fundament, montaż i cło kosztuje ok 10%

Jeżeli obliczyć sumarycznie koszt całej elektrowni z dostateczną rezerwą, to:

dla mocy użytkowej elektrowni	4000	10000	20000	*kW*
otrzymamy koszt 1 *kW* ok.	1100	750	650	zł.

Brown Boveri podaje na zasadzie doświadczeń na Zachodzie dla podobnych mocy koszt, przeliczony na złote 1200, 850, 730 zł. czyli ok. 10%



Rys. 3.

więcej, co wobec niewiadomego sposobu ustalenia użytecznej mocy elektrowni i stopnia rezerw należy uznać za wynik bardzo zbliżony, można więc posługiwać się wyrazem empirycznym przez niego podanym z odpowiednią poprawką dla naszych warunków:

$$A = \left(1,9 - 2,1\right)\left[265,5 + \frac{1468,5}{MW} - \frac{1134}{MW^2}\right] zł/kW$$

gdzie MW oznacza moc użytkową elektrowni w megawattach (rys. 3).

Krzywa powyższa szybko opada aż do mocy ok. 20000 *kW*, od 60000 *kW* pozostaje prawie prostą linją poziomą; na górnej połowie części opadającej leży większość elektrowni kopalnianych (5000—10000 *kW*), z kosztem jednostkowym średnio 900 *zł/kW*, na części poziomej leżą wielkie siłownie okręgowe z kosztem 560 *zł/kW*. Koszt obsługi łatwy jest w elektrowniach kopalnianych do obliczenia, trudniej natomiast ująć część kosztów ogólnych, zawierających świadczenia pośrednie, administrację i różne wydatki, obciążające nietylko ruch elektrowni lecz przedewszystkiem ruch całej kopalni; do nich należą: utrzymanie domów, ogrodów, dróg, szkół, pomoc lekarska i kasa chorych, węgiel opałowy, urlopy, wypadki nieszczęśliwe, ubezpieczenia, podatki, wreszcie administracja ogólna, dyrekcja, rada zarządzająca. Niektóre z nich obciążają elektrownię w stosunku do ilości pracujących robotników, reszta w stosunku do wydatków eksploatacyjnych; pierwsze szacuję na 25%, drugie 75%, czyli ogółem 100% wypłaconej robocizny.

Przy sprzedaży prądu przez elektrownię kopalnianą opłaca ona patent oraz podatek obrotowy 2,5%. Ponieważ obrót elektrowni 10000 *kW* przy 5000 godzin użytkowania i 5 groszach za *kWh* wynosi ok 30% wartości elektrowni, to w stosunku do niej podatek ten stanowi niecały 1%.

Wodę do kondensacji otrzymują elektrownie od pomp dołowych kopalnianych, kosztu jej więc można nie brać w rachubę.

Węgiel spalony pod kotłami obliczony być powinien po cenie sprzedażnej. Spożycie węgla zależy od sprawności kotłów i turbin i od stopnia ich wyzyskania. Czynniki te dla lepszych elektrowni kopalnianych i wielkich siłowni nowoczesnych są następujące:

BILANS CIEPLNY.

	Moc elektrowni					
	ok. 10000 *kW*			ok. 50000 *kW*		
	Rozchód ciepła w %					
	jałowy	dodatkowy	całkowity	jałowy	dodatkowy	całkowity
Kocioł						
doprowadzono	12	88	100	11	89	100
wzięto			74			80
Rurociągi						
doprowadzono	0,3	73,7	74	0,1	79,9	80
wzięto			73,7			79,9
Turbina						
doprowadzono	9,5	64,2	73,7	8	71,9	79,9
wzięto			14			18,4
Rozdzielnia						
doprowadzono	0,1	13,9	14	0,08	18,32	18,4
wzięto			13,9			18,32
Ogółem						
doprowadzono	21,9	78,1	100	19,18	80,82	100
wzięto			13,9			18,32
albo w kalorjach						
doprowadzono	1350	4830	6180	900	3800	4700
wzięto			860			860
albo w węglu						
5000 *kcal/kg*	0,27	0,96	1,23	0,18	0,76	0,94
7000	0,193	0,69	0,88	0,128	0,54	0,67

W tabeli powyższej przyjęto:

	ok. 10000 *kW*	ok. 50000 *kW*
sprawność kotła	74	80%
straty na 1 m^2 rurociągu i godz.	1000	1000 $kcal/m^2/godz.$
sprawność turbogeneratora netto	19	23%
albo spożycie pary netto	6,5	5,4 *kg/kWh*
potrzeby różne drobne	0,75	0,4%

Wyrazy dla spożycia ciepła w zależności od rocznego wyzyskania mocy *n* i czasu pracy jednakowych maszyn *f* (Klingenberg)

$$Q = 1350\frac{f}{n} + 4830 \quad Q = 900\frac{f}{n} + 3800, \text{ w } kcal/kWh$$

Jeżeli stale pracują wszystkie maszyny, to $f = 1$, dla elektrowni szczytowych ($T < 2000$ *g*) zakładam $f = 0{,}4$, dla $T = 4000$ *g* — $f = 0{,}7$.

Koszt 1 *kWh* przy cenie węgla w *gr* za 1000 *kcal* i wyzyskaniu *n* wyniesie w groszach

$$a = 21 \,.\, A \frac{1}{n \,.\, 8760} + k\left(1{,}35\frac{f}{n} + 4{,}83\right) . \, W —$$

dla el-ni małej,

$$a = 21 \,.\, A \frac{1}{n \,.\, 8760} + k \,.\left(0{,}9\frac{f}{n} + 3{,}8\right) . \, W —$$

dla el-ni dużej.

Sprawność kotła założona była dla węglamiału o wartości opałowej 6000 *kcal*, ($k = 1$), dla wyższej lub niższej wartości węgla podnoszę lub obniżam sprawność ok. 1% na każde 500 *kcal*, czyli przyjmuję w przybliżeniu dla węgli 7000 *kcal* i 5000 *kcal* $k = 0{,}97$ i — 1,02.

Dla miału 6000 *kcal*, 5000 *kcal* i orzecha II 7000 *kcal* obliczamy niżej podany koszt 1000 *kcal* w groszach dla Śląska i Warszawy, dodając na wyładunek, koszta dodatkowe itd. zł. 2,5 na tonę, a przy miale ponadto 10% na straty magazynowania.

Orzech II 7000 kcal.

cena w kopalni	zł. 27,	czyli za 1000 *kcal* gr. 0,39
przewóz	15.20	
wyładunek i koszta	2.50	
	44.70,	czyli za 1000 *kcal* gr. 0,642

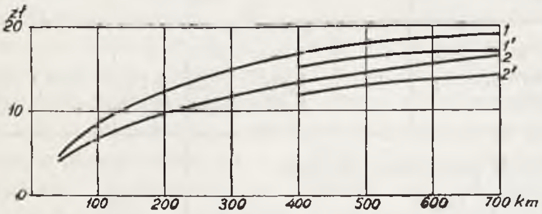
miał 6000 kcal.

na kopalni	zł. 11,	czyli za 1000 *kcal* gr. 0,184
w Warszawie	28,	„ „ 1000 „ gr. 0,462

miał 5000 kcal.

na kopalni	zł. 5,	czyli za 1000 *kcal* gr. 0,1
w Warszawie	21,	„ „ 1000 „ gr. 0,42

Koszt przewozu podają krzywe poniższe (rys. 4).

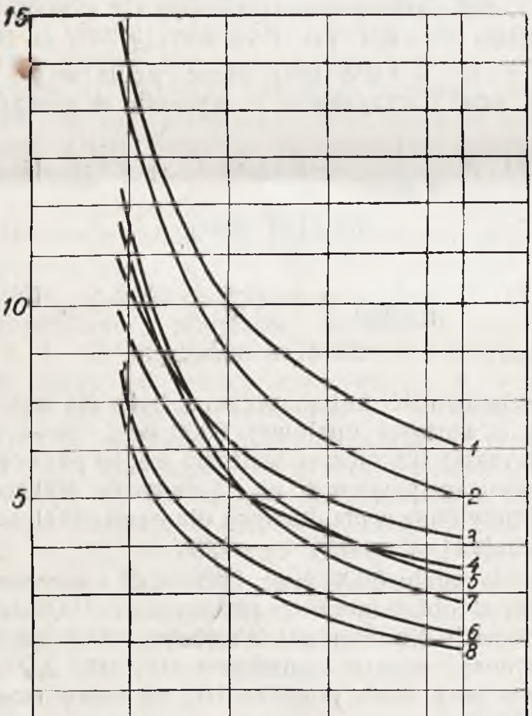


Rys. 4. Koszt przewozu węgla.

Dla małej elektrowni w Warszawie, opalanej orzechem, obliczam koszt 1 kWh przy $n = 0{,}456$ (czyli $T = 4000\ g$) i $f = 0{,}7$ jak następuje

$$a = 21\,.\,900 : 4000 + 0{,}98\,(1{,}35\,.\,0{,}7 : 0{,}456 + 4{,}83)\,.$$
$$.\,0{,}642 = 9{,}15\ gr/kWh$$

obliczone w ten sposób wielkości podane są na rys. 5, na którym krzywe oznaczają



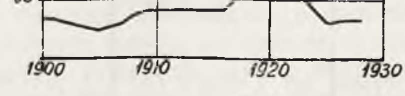
Rys. 5. Koszt 1 kWh.

1 —	mała	elektrownia w Warszawie	opalana	orzechem	7000 *kcal*
2	„	„	„	„ miałem	6000 „
3	duża	„	„	„ orzechem	7000 „
4	„	„	„	„ miałem	6000 „
5	mała	„ w Zagłębiu	„	„	6000 „
6	duża	„	„	„	6000 „
7	mała	„	„	„	5000 „
8	duża	„	„	„	5000 „

W kosztach powyższych całkowitych część zależna bezpośrednio lub pośrednio od zainwestowanego kapitału wynosi na 1 *kWh*

przy użytkowaniu w roku godzin	2000	4000	6000	8760
dla małej elektrowni gr.	9,45	4,72	3,15	2,16
„ dużej „ „	5,9	2,95	2,0	1,35

Z porównania powyższego widać, że 1) opalanie miałem jest bardzo korzystne dzięki niskiej jego cenie, 2) pomiędzy kosztem 1 *kWh* w dużych elektrowniach w Warszawie (4) i na kopalni (6) istnieje różnica w wysokości ok. 1,5 gr. przy miale 11 *zł/t* i 2 *gr* przy spalaniu na kopalni miału najgorszego (3) w cenie 5 *zł/t*. 3) pomiędzy kosztem 1 *kWh* wytwarzanej na kopalni z takiego miału w elektrowniach małych (7) i dużych (8) różnica wynosi ok. 1,5 *gr*. Cena sprzedażna z elektrowni małych kopalnianych wynosiła do niedawna dla objektów (1000—2000) *kW* przy użytkowaniu ok. 6000 g. w roku 4 do 6 groszy. W chwili obecnej znane mi są tranzakcje po cenach 2,5 do 3 groszy; o ile dla elektrowni dużych i dużego wyzyskania są to ceny zupełnie dostateczne, o tyle dla małych można je osiągnąć tylko drogą sztucznej kalkulacji: 1) obniżając nadmiernie cenę miału, który wskutek złej konjunktury węglowej nie znajduje kupców i spala się na zwałach, lub 2) nie licząc kosztów amortyzacji starszych urządzeń i % od kapitału pod pretekstem iż „maszyny są dawno zamortyzowane" (a gdzie są te pieniądze odłożone?), a akcjonarjusz zadowolni się dywidendą, choćby kapitał, włożony w tę część inwestycji kopalnianych należycie nie był opłacony. Taka sprzedaż ma wszelkie cechy krótkotrwałej „wyprzedaży posezonowej" i musi, mojem zdaniem, z czasem doprowadzić jedynie do likwidacji małych elektrowni lokalnych, gdyż przy lepszych cokolwiek konjunkturach węglowych lub potrzebie większych inwestycyj w tych elektrowniach uchybienia w kalkulacji dadzą się bardzo wyraźnie i boleśnie we znaki, a dalszą dostawę prądu po niskich cenach będą mogły prowadzić dalej tylko elektrownie nowoczesne, duże. Stosunek ceny miału do grubego od r. 1900 do chwili obecnej podaje następujący wykres; stosunek ten jest poniekąd miarą konjunktury węglowej (rys 6).



Rys. 6. Stosunek cen miału i grubego węgla.

Dla porównania obliczymy teraz, ile kosztowałby prąd z sił wodnych, który pono jest najtańszy. Polska nie rozporządza w tych siłach bardzo dużemi mocami i dużemi spadkami to też można liczyć, że zainstalowany 1 *kW* będzie tu kosztował najmniej 2000 zł. Jeżeli wynosi:

koszt kapitału	8 %
amortyzacja	3 %
naprawa i materjały	1,5%
obsługa	0,5%
razem	15 %

to koszt produkcji zależny bezpośrednio lub pośrednio od kapitału wyniesie 300 zł. rocznie lub przy użytkowaniu w ciągu roku:

godzin	2000	4000	6000	8760
gr/kWh	15	7,5	5	3.42

Widzimy, że ceny te leżą znacznie powyżej cen osiągalnych z węgla. Pozostało obecnie jeszcze pytanie: czy koszt przenoszenia energji elektrycznej z Zagłębia Węglowego do Warszawy, Łodzi i t. d. opłaci się. Ponieważ nie mam jeszcze pod ręką dostatecznych danych dla obliczenia kosztów linji 220 *kV*, a takie napięcie dla „polskiej szyny zbiorczej" zapewne będzie wybrane, postaram się rozwiązać pytanie inaczej, a mianowicie: jaki może być maksymalny koszt linji przesyłowej Zagłębie-Warszawa, aby przy przesyłaniu 30000 *kW* przez 5500 godzin w roku i cos φ — 0,8 koszta przesyłania nie przekroczyły oszczędności, osiągniętych przez wytwarzanie prądu przy kopalni?

Dla obliczenia tego robię następujące założenia:

1. koszt prądu loco elektrownia liczę 3 gr.
2. amortyzację linji 2%, stacji 6%, średnio 2,5%.
3. straty w miedzi przy $T = 5500$ godzin wyniosą 60% strat pełnego obciążenia.
4. straty koronowe wyniosą 1 *kW/km*
5. straty biegu jałowego i miedzi wyniosą dla każdego transformatora po 1,0%
6. koszt obsługi i napraw wynosi 1,5% od wartości urządzeń.
7. różnica kosztu wytwarzania w Warszawie i na kopalni 2 i 3 grosze na 1 *kWh*.

Straty mocy

największa strata w linji i transformatorach 13%—	3900 *kW*
stała strata koronowa 1 × 320	320
razem straty mocy	4220 *kW*

Koszty instalacji

320 km przewodu, 2 stacje końcowe i 6 pośrednich A zł.

Koszt strat

bieg jałowy transformator. 30000 . 0,02 . 8760	= 5,2 mil. *kWh*
straty w miedzi „ 5,2 . 0,6	= 3,1 „ „
korona 320 . 8760	= 2,8 „ „
straty w linji 30000 . 0,09 . 0,6 . 8760	= 14,0 „ „
Ogółem (15%)	25,1 mil. *kWh*
	× 0,03
	750000 zł.

Koszt kapitału, obsługa i naprawy 0,12 . *A* zł.

Warunek rentowności będzie:

$$30000 \cdot 5500 \cdot 0{,}02 > 0{,}12 \cdot A + 750000$$

$$\text{skąd } A < 21 \text{ mil. zł.}$$

Jeżeli oszczędność na wytwarzaniu prądu wyniesie nie 2 lecz 3 grosze na 1 *kWh*, wskutek tego, że Warszawa pali częściowo orzechem i że w rachunku pominięto kilka dodatkowych kosztów elektrowni wielkomiejskiej, to:

$$A < 35 \text{ mil. zł.}$$

W pierwszym wypadku koszt linji i stacyj nie powinien przekraczać 700 zł, w drugim 1170 zł. na 1 *kW* przenoszony.

Koszt nowoczesnej linji 220 *kV* dla przeniesienia 100000 *kW* na odległość 500 km ma wynosić według E. u. M., 1928, str. 605 ok. 55 mil. zł. czyli ok. 550 zł. na 1 *kW*, a przy odległości 320 km ok 350 zł, a po uwzględnieniu kosztu stacji transformatorowych i pośrednich ok. 450 zł. Przy naszych mniejszych mocach koszt będzie stosunkowo większy, jednak utrzyma się zapewne nawet poniżej dolnej granicy. Kierunek tej części polskiej szyny zbiorczej wyobrażam sobie z Zagłębia Węglowego 1) przez Częstochowę, Łódź do Warszawy i 2) przez Kielce, Radom do Warszawy. Stworzenie jej przyśpieszyłoby elektryfikację wielu dzielnic, pozwoliłoby na obniżenie kosztów wytwarzania przez wyrównywanie obciążeń i przez stworzenie warunków swobodniejszej konkurencji wytwórców.

Rozwinięta dalej szyna zbiorcza powołałaby do współpracy inne nasze źródła energji jak gazy ziemne, wodę, węgle brunatne, może i torfy.

Szynę taką posiadają już Niemcy, Czesi nie wahają się zasilać swojej stolicy prądem z nad samej granicy niemieckiej, stwarzając mu jednocześnie odpowiednie przeciwwagi. Dla uniknięcia wprowadzania monopolów i przywilejów dla większych grup elektryfikacyjnych Państwo powinno budowę szyny rozpocząć samo, lub w organizacji mieszanej zapewnić sobie wpływ należny.

W najbliższej przyszłości podam przybliżony koszt takiej linji okrężnej.

Prof. Dr. inż. W. BOROWICZ, Lwów.

DYSZE i KRYZY SPIĘTRZAJĄCE PRZY POMIARACH ILOŚCI PARY.

(por. *Technika Cieplna*, 1928, str. 168).

Jeżeli przy pomiarach ilości pary nie kładziemy specjalnego nacisku na dokładność pomiarów, możemy używać następujących wzorów przybliżonych:

1) *Dla wypływu pary nasyconej:*

Wyraz $\sqrt{\frac{p_1}{v_1}}$ wzrasta prawie w prostym stosunku do p_1, i z tego powodu możemy napisać:

$$\sqrt{\frac{p_1}{v_1}} = \infty\, c \,.\, p_1$$

albo

$$c = \frac{\sqrt{\frac{p_1}{v_1}}}{p_1} = \frac{1}{\sqrt{p_1 v_1}}$$

Tabela liczbowa 5

p_1 *at . abs*	1	2	5	10	15	20
$\sqrt{\frac{p_1}{v_1}}$	0,762	1,491	3,64	7,09	10,5	13,9
c	0,762	0,746	0,728	0,709	0,70	0,695

Dla przybliżonych obliczeń możemy wobec tego użyć wzoru:

$$\frac{G}{F} = \varkappa \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} = c\varkappa \,.\, p_1$$

Dla $\frac{p_2}{p_1} < 0{,}577$ i $\varkappa = 20{,}55$ wstawimy średnią wartość c z tabeli liczbowej 5:

$$c = 0{,}73$$

i otrzymujemy*)

$$\frac{G}{F} \simeq 0{,}73 \,.\, 20{,}55\, p_1 \simeq 15 \,.\, p_1 \quad . \quad . \quad . \qquad (19)$$

mierząc G w kg/sec, F w cm^2 i p_1 w kg/cm^2, albo

$$\frac{G}{F} \simeq 0{,}73 \,.\, 0{,}716 \,.\, p_1 = 0{,}522 \,.\, p_1 \qquad (20)$$

mierząc G w $kg/godz$, F w mm^2 i p_1 w kg/cm^2.

*) E. Höhn, Schweizer. Verein von Dampf-Kesselbesitzen. 1920.

2) *Dla wypływu pary przegrzanej.*

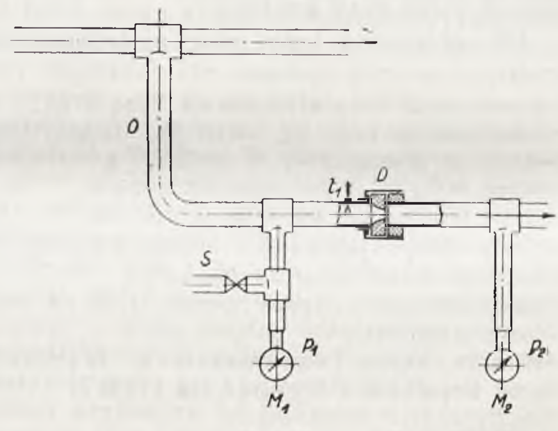
oraz $\frac{p_2}{p_1} > 0{,}5457$ znamy wzór**) przybliżony

$$G = 120 \,.\, d^2 \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{v}}\ kg/godz \qquad (21)$$

gdzie d w cm, p w kg/cm^2, v w m^3/kg.
Dla $p_1 = 9$ *ata* i $p_1 - p_2 < 0{,}15$ kg/cm^2 dokładność w obliczeniu G wynosi około 1,2%.

Przykład.

Z rurociągu R (rys. 15) pobieramy parę przez odgałęzienie O i zamierzamy ilość jej zmierzyć zapomocą otworu D. Przed otworem mierzymy ciśnienie p_1 i temperaturę t_1, za otworem ciśnienie p_2. Zawór S służy do odpuszczania skroplin przed otworem. $D = 0{,}45$ cm, $F = 0{,}159$ cm^2.



Rys. 15.

a. Para nasycona, $x = 1$.

$$p_1 = 12\ ata,\ v_1 = 0{,}1668\ m^3/kg.$$

Według wzoru (19):

$$G = 15 \,.\, F \,.\, p_1 = 15 \,.\, 0{,}159 \,.\, 12 = 28{,}699\ g/sec. = 103\ kg/godz.$$

Według dokładnego wzoru (13):

$$G = \varkappa \,.\, F \,.\, \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} = 20{,}55 \,.\, 0{,}159 = \sqrt{\frac{21}{0{,}1688}} = 27{,}55\ g/sec.$$

**) BBC Mitteilungen, 1916, str. 184.

Dokładność obliczenia zapomocą wzoru przybliżonego:

$$\frac{28,69 - 27,55}{27,55} \cdot 100 = 4,14\%$$

b. Para przegrzana.

$p_1 = 12$ *ata*, $t_1 = 350°$ *C*, $v_1 = 0,2388$, m^3/kg.
$p_2 = 5$ *ata*.

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{5}{12} = 0,416 < 0,5457, \text{ wobec tego}$$

$$\varkappa = \text{const} = 20,56$$

Używamy wzoru (13):

$$G = 20,56 \cdot F \cdot \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} = 20,56 \cdot 0,159 \cdot$$

$$\cdot \sqrt{\frac{12}{0,2388}} = 23,1 \; g/sek.$$

Jeżeli zaś mamy np. $p_2 = 11,88$ *ata*, obliczamy G ze wzoru (21):

$$G = 120 \cdot d^2 \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{v_1}} = 120 \cdot 0,45^2 \cdot$$

$$\cdot \sqrt{\frac{0,12}{0,2388}} = 17,21 \; kg/godz = 4,78 \; g/sek.$$

Według wzoru (13) otrzymujemy G, posługując się $\varkappa$ z krzywej Bendemanna:

$$G = 0,159 \cdot 4,23 \sqrt{\frac{0,12}{0,2388}} = 4,765 \; g/sec;$$

dokładność obliczenia według wzoru (21):

$$\frac{4,78 - 4,765}{4,765} \cdot 100 = 0,315\%$$

c) Pomiary p_1

Spółczynnik $\varkappa$ oblicza się ze wzoru (14) przy założeniu, że para dopływa do otworu z prędkością $c_1 = 0$. Jeżeli z tego założyć nie możemy, wtenczas *):

$$\varkappa' = \sqrt{gk\left(\frac{k-1}{k^2} \cdot \frac{c_1^2}{gP_1 v_1} + \frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Obliczanie $\varkappa'$ według wzoru (22) jest uciążliwe z tego powodu, że $\varkappa'$ jest funkcją c_1. Pozatem wiemy, że $\varkappa$, otrzymane z doświadczeń przy założeniu $c_1 = 0$, różni się nieco od $\varkappa$ teoretycznego. Z tego możemy wnioskować, że $\varkappa'$ otrzymane z doświadczeń zapewne również będzie się nieco różniło od teoretycznego. Badania nad $\varkappa'$, o ile jestem poinformowany, nie zostały ogłoszone w literaturze, musimy więc przy dokładnych pomiarach opierać się na badaniach *Bendemanna* nad $\varkappa$. Z przyrządu, którym się on posługiwał, można wnioskować, że dopływowa prędkość pary c_1, jeżeli nie była równa zeru, to w każdym razie bardzo znacznie zmniejszona. W praktyce nie zawsze udaje się nam zmniejszyć c_1 do wartości, odpowiadającej doświadczeniom *Bendemanna*, tembardziej, że to jest związane z dużemi stratami, których należy unikać. Zamiast tego, żeby w pomiarach gdzie $c_1 \lesseqgtr 0$, obliczać ilość pary G' zapomocą dokładnego lecz uciążliwego wzoru:

$$\frac{G'}{F} = \sqrt{gk\left(\frac{k-1}{k^2} \cdot \frac{c_1^2}{gP_1 v_1} + \frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}$$

możemy obliczyć G ze wzoru przybliżonego:

$$\frac{G}{F} = \sqrt{g.k. \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \cdot \sqrt{\frac{p_1 + \frac{\gamma . c_1^2}{2g}}{v_1}}$$

w którym pierwszy pierwiastek jest dobrze nam znany spółczynnik $\varkappa$. Drugi pierwiastek zawiera w liczniku ogólne ciśnienie pary:

$$Pog = p_1 + \frac{\gamma . c_1^2}{2g}$$

gdzie p_1 jest statyczne ciśnienie pary i

$\frac{\varphi \cdot c_1^2}{2g}$ dynamiczne ciśnienie pary przed otworem.

Ogólne ciśnienie p_{og} możemy łatwo zmierzyć zapomocą zgiętej rurki Pitot'a, wprowadzonej do rurociągu przed otworem:

Zbadamy teraz dokładność wzoru (24). W tym celu obliczamy:

$$\alpha = \frac{G'}{G} = \frac{\text{dokładna ilość pary według wzoru (23)}}{\text{przybliżona ilość pary według wzoru (24)}}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{gk} \cdot \sqrt{\left(\frac{k-1}{k^2} \cdot \frac{c_1^2}{\gamma \cdot p_1 v_1} + \frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \cdot \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}}{\sqrt{gk} \cdot \sqrt{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \cdot \sqrt{\frac{p + \frac{\gamma \cdot c_1^2}{2g}}{v_1}}}$$

Po pewnych działaniach otrzymujemy:

$$\alpha = \frac{(ab+1)^{\frac{1}{2d}}}{\sqrt{b+1}}$$

*) Schüle, Technische Thermodynamik I, str. 309.

gdzie: $a = \frac{k^2 - 1}{k^2}$

$$b = \frac{c_1^2}{2\,gp_1\,v_1}$$

$$d = \frac{k-1}{k+1}$$

Dokładność: $\varepsilon = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \cdot 100$

Sprawdzimy dokładność na przykładach*).

a). Para przegrzana: $p_1 = 10\,ata$, $t_1 = 250^0\,C$, $v_1 = 0{,}23758\,m^3/\,kg$.

$c_1 = 50\ m/\,sec$	$\varepsilon = 0{,}423\%$ **)
$= 100\ m/\,sec$	$= 2{,}25\%$
$= 150\ m/\,sec$	$= 5{,}16\%$
$= 200\ m/\,sec$	$= 8{,}66\%$

b). Para nasycona: $p_1 = 10\ ata$, $x = 1$, $v_1 = 0{,}1985\ m^3/\,kg$.

$c_1 = 50\ m/\,sec$	$\varepsilon = 0{,}81\%$
$= 100\ m/\,sec$	$= 3{,}20\%$
$= 150\ m/\,sec$	$= 7{,}10\%$
$= 200\ m/\,sec$	$= 16{,}1\%$

Biorąc pod uwagę, że rurociągi parowe otrzymują takie wymiary, aby prędkość przepływającej pary nie przekraczała $c_1 = 50\ m/\,sec$, dochodzimy do rezultatu, że wzór (24) daje zupełnie dostatecznie dokładne wyniki, przyczem dokładność tego wzoru leży w granicach dokładności samych pomiarów.

Zbadamy jeszcze dokładność wzoru (13) t. j. przy uwzględnieniu tylko statycznego ciśnienia p_1 pary w rurociągu przed otworami. Obliczymy stosunek:

$$\alpha_1 = \frac{G^1}{G_1} = \frac{\text{dokładna ilość pary według wzoru (23)}}{\text{przybliżona ilość pary wegług wzoru (13)}}$$

$$\alpha_1 = \frac{\sqrt{gk}\cdot\sqrt{\left(\frac{k-1}{k^2}\cdot\frac{c_1^2}{g\,.\,p_1\,.\,v_1}+\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}\cdot\sqrt{\frac{p_1}{v_1}}}{\sqrt{gk}\cdot\sqrt{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}\cdot\sqrt{\frac{p_1}{v_1}}}$$

$$\alpha_1 = (a\,.\,b + 1)^{\frac{1}{2d}}$$

gdzie:

$$a = \frac{k^2 - 1}{k^2}$$

$$b = \frac{c_1^2}{2\,gp_1\,v_1}$$

$$d = \frac{k-1}{k+1}$$

$$\varepsilon_1 = \left(1 - \frac{1}{\alpha_1}\right)\cdot 100$$

a) para przegrzana: $p_1 = 10\,ata$, $t_1 = 250^0\,C$ $v_1 = 0{,}23758\ m^3/kg$

$c_1 = 50\ m/sec$	$\varepsilon_1 = 0{,}686\%$
$= 100\ m/sec$	$= 3{,}29\%$
$= 150\ m/sec$	$= 7{,}37\%$
$= 200\ m/sec$	$= 12{,}36\%$

b) para nasycona: $x = 1$, $p_1 = 10\ ata$, $v_1 = 0{,}1985\ m^3/kg$

$c_1 = 50\ m/sec$	$\varepsilon_1 = 1{,}13\%$
$= 100\ m/sec$	$= 4{,}425\%$
$= 150\ m/sec$	$= 9{,}7\%$
$= 200\ m/sec$	$= 16{,}1\%$

Porównując ε z ε_1 widzimy, że wzór (13) daje również dokładne rezultaty i w pewnych przypadkach dokładność tego wzoru jest zupełnie zadawalająca, szczególnie wtedy, gdy wbudowanie rurki Pitot'a przedstawiałoby pewne trudności.

Przechodząc do samych pomiarów, należy zauważyć, że rurkę Pitot'a należy wprowadzić do rurociągu w takiej odległości od otworu, aby para bez wirów wpływała do otworu. Ta sama uwaga odnosi się do miejsca mierzenia t_1. Ciśnienie p_2, do którego para się rozpręża po wypływie z otworu, jest statycznem ciśnieniem w przekroju wylotowym. W tem miejscu mierzenie jest bardzo utrudnione, wobec tego mierzymy go tam, gdzie strumień pary jeszcze nie zapełnił całkowicie przekroju rurociągu.

Aby przez wbudowanie przyrządów do mierzenia pary nie spowodować dużych strat w parze, należy ograniczyć się do małych różnic ciśnień $p_1 - p_2$. Przeto jesteśmy zmuszeni do stosowania bardzo czułych przyrządów mierniczych. Dobre usługi okazuje rtęciowy manometr różnicowy. Przenoszenie ciśnienia odbywa się przez słupy wody. Należy uważać, aby przed i za organem mierniczym nie było zmian kierunku przepływu pary, nie było zwężeń lub rozszerzeń w rurociągu, ponieważ w tych przypadkach powstają wiry, wpływające szkodliwie na rezultat doświadczeń. Aby wpływ słupków wody na różnicę odczytywanych ciśnień nie podlegał wahaniom, ciśnienie pary przeprowadzamy przez dwie kondensacyjne komory. Te są tak urządzone, że poziom wody ustala się w nich na różnych wysokościach. O ile w jednej z tych komór skropli się więcej pary, to woda może przez 12 *mm* szerokie rurki w świetle spłynąć z powrotem do rurociągu. Rurki, prowadzące do manometru rtęciowego, mogą być węższe (*ak.8 mm*).

Na poziomie rtęci z lewej strony działa ciśnienie

$$p_1 + h_{1w}$$

na poziom rtęci $n - n$ z prawej strony działa

$$p_2 + h_{2w} + h_{Hg}$$

*) Te i dalsze przykłady zostały przeliczone przez p. inż. St. Jugendfeina.

**) t. zn. że dokładny wzór daje większą ilość pary niż przybliżony o 0,423%

gdzie:

p_1 i p_2 ciśnienie pary,

h_{1w} i h_{2w} ciśnienie słupa wody

h_{Hg} „ „ rtęci.

Ciśnienia powyższe najdują się w równowadze:

$$p_1 + h_{1w} = p_2 + h_{2w} + h_{Hg}$$

albo

$$p_1 - p_2 = h_{Hg} - (h_{1w} - h_{2w}) = h_{Hg} - h_w$$

przyczem $p_1 - p_2$ jest różnica ciśnień mierzona w *mm* słupa wodnego. Aby z wskazań w *mm Hg* przejść na wskazania *kg/cm*² należy wskazania $p_1 - p_2$, mierzone w *mm* H_2O, podzielić przez 10000; otrzymujemy wtedy:

$$(p_1 - p_2)_{w\ kg/cm^2} = \frac{h\,(\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O})}{10000}$$

$$= \frac{h}{10000 : (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O})} = \frac{h}{H_t}$$

gdzie

$$H_t = \frac{10000}{\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}}$$

Należy jeszcze wprowadzić poprawkę temperatury, którą odczytujemy z tabeli liczbowej 6.

Tabela liczbowa 6.

Temperatura w sali pomiarów.	γ_{Hg}	γ_{H_2O}	$H_t = \frac{10000}{\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}}$	
0°	13,595	0,99987	794,0	mm
4°	13,596	1,00000	794,5	„
10°	13,571	0,99973	795,5	„
20°	13,546	0,99823	796,9	„
30°	13,522	0,99567	798,3	„
40°	13,497	0,99224	799,7	„
50°	13,473	0,98807	801,0	„

Aby więc otrzymać różnicę ciśnień $p_1 - p_2$ w *kg/cm*², albo w *at*, mierzymy różnicę poziomów rtęciowego manometru w *mm* i dzielimy ją przez odpowiednią liczbę H wziętą z tabeli liczbowej 6.

Pomiary ilości pary zapomocą otworów sprowadzamy do tego, że obliczenia G musimy znać dokładnie wielkość $\varkappa$, która była wielkością stałą dla stosunku ciśnień $\frac{p_2}{p_1} = 0$ do 0,57. O ileby przy naszych badaniach tak duży spadek cisnień nie był dopuszczalny, moglibyśmy obliczyć G, posługując się krzywą *Bendemanna* do określenia zmiennego $\varkappa$, albo jego empirycznym wzorem. Krzywa ta jest zależna, (choć w niedużym stopniu) od formy otworu oraz w znacznej mierze od dokładności przyrządu, służącego do mierzenia różnicy ciśnień. Mała niedokładność w określeniu $p_1 - p_2$ odbija się bardzo znacznie na określeniu $\varkappa$ krzywej *Bendemanna* i znacznie zmniejsza dokładność pomiaru.

Dokładność pomiarów pary zapomocą otworów można ocenić na $\pm$ 1%.

W przypadkach, jeżeli zachodzi potrzeba bardzo dokładnego określenia G, musimy się uciekać do innego sposobu który nie wymaga posługiwania się krzywą *Bendemanna* i który daje dobre rezultaty przy stosunkowo niedużej różnicy ciśnień $p_1 - p_2$. Sposób taki jest oparty na stosowaniu dysz do pomiarów ilości pary t. j. przyrządów z rozszerzającemi się ściankami. Posługując się więc dyszami, można osiągnąć maximum ilości przepływającej pary (innemi słowami osiągnąć stałe $\varkappa$) przy znacznie mniejszym spadku ciśnień, niż w przypadku stosowania otworów.

III. Dysze.

Przy używaniu otworów do mierzenia ilości wypływającej pary stosowaliśmy wzór: (13)

$$G_m = \varkappa \cdot F_m \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \qquad (13)$$

przyczem G_m było maximum ilości pary, jeżeli ciśnienie p_m w przekroju wylotowym F_m równało się ciśnieniu krytycznemu p_s, gdzie

$p_s = 0{,}5774\ p_1$ dla pary nasyconej suchej.

$p_s = 0{,}5454\ p_1$ dla pary przegrzanej.

Ze zmniejszeniem się stopnia przegrzania spółczynnik 0,5454 wzrasta i zbliża się do 0,5774.

Jeżeli $p_m > p_s$, to ilość pary G_o wypływającej z otworu jest

$$G_o < G_m.$$

przyczem

$$G_o = G_m\,\xi, \qquad (28)$$

gdzie

$$\xi = \sqrt{1 - \left(\frac{\beta - \beta_s}{1 - \beta_s}\right)^2} \qquad (17)$$

Jeżeli para wypływa z dyszy, przyczem stosunek przekroju wypływowego do przekroju najwęższego oznaczymy przez

$$q = \frac{F_2}{F_m} \qquad (29)$$

to przy $\beta > \beta_s$ przez dyszę wypłynie więcej pary, niżby według wzorów (28) i (17) wypadało. β wzrasta odpowiednio z wrostem q (rys. 16).

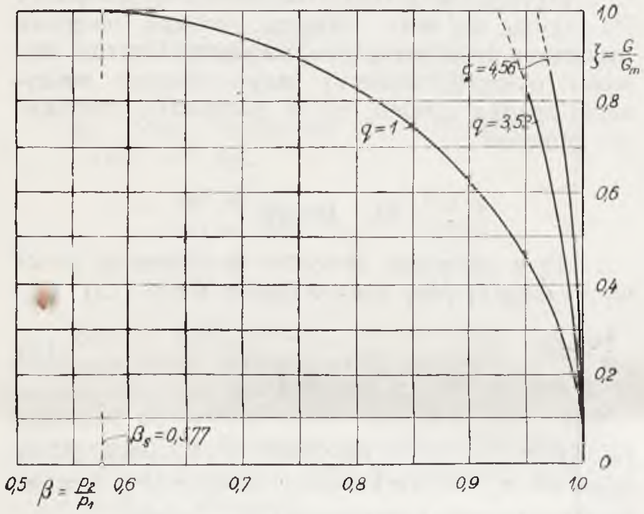
Wzór (28) możemy napisać jeszcze w formie:

$$G_0 = G_m \cdot \xi = \xi \; F_m \varkappa \cdot \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \qquad (30)$$

Jeżeli porównamy dyszę z otworem, przyczem przekrój wylotowy dyszy F_2 będzie równał się przekrojowi otworu F_2, wtedy przez taki otwór przepłynie ilość pary (analogicznie do (30))

$$G = \xi \cdot F_2 \varkappa \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \qquad (31)$$

Ta sama ilość pary przepłynie przez dyszę o przekroju F_m i F_2



Rys. 16.

Z wzoru (13) mamy:

$$\varkappa \cdot \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} = \frac{G_m}{F_m}$$

Otrzymujemy ilość pary przepływającej przez dyszę:

$$G = \xi F_2 \cdot \frac{G_m}{F_m} \qquad (32)$$

albo *),

$$G = \xi \cdot q \cdot G_m$$

Należy wprowadzić do wzoru (32) jeszcze współczynnik μ, uwzględniający straty przepływowe, gdzie μ, na zasadzie doświadczeń *Stodoli*, *Büchnera*, *Gutermutha* i *Bendemanna* można przyjąć z dostateczną dokładnością:

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{q}}$$

*) *Forner*, Z. 1919, str. 72.

dla dysz o stosunku przekrojów

$$\frac{F_2}{F_m} = 1 \text{ do } 10,$$

Wtedy:

$$G = G_m \sqrt{q} \cdot \xi$$

albo

$$\frac{G}{G_m} = \sqrt{q \left[1 - \left(\frac{\beta - \beta_s}{1 - \beta_s} \right)^2 \right]} \qquad 34$$

Przez analogję dyszy z otworem piszemy:

$$\frac{G}{G_m} = \sqrt{1 - \left(\frac{\beta_m - \beta_s}{1 - \beta_s} \right)^2}$$

gdzie

$$\beta_m = \frac{p_m}{p_1} = \frac{\text{ciśnienie w najwęższym przekroju}}{\text{ciśnienie wlotowe}}$$

wtedy:

$$\sqrt{q \left[1 - \left(\frac{\beta - \beta_s}{1 - \beta_s} \right)^2 \right]} = \sqrt{1 - \left(\frac{\beta_m - \beta_s}{1 - \beta_s} \right)^2}$$

albo

$$\beta_m = \beta_s + \sqrt{q (\beta - \beta_s)^2 - (q - 1)(1 - \beta_s)^2}$$

Jeżeli:

$$\beta_m = \beta_s$$

wtedy

$$\frac{G}{G_m} = 1$$

co następuje przy

$$\beta = \beta_s + (1 - \beta_s) \sqrt{\frac{q - 1}{q}} = \beta_1 \qquad 35$$

Wzór (34) jest ważny w granicach

$$\beta = \beta_1 \text{ do } \beta = 1$$

dla $\beta_s = 0{,}545$, otrzymujemy:

$$\frac{G}{G_m} = 2{,}2 \sqrt{q (\beta - 0{,}09)(1 - \beta)}$$

i

$$\beta_1 = 0{,}545 + 0{,}455 \sqrt{\frac{q - 1}{q}}$$

Ten wzór *Fornera* został w ostatnich czasach zbadany przez *Josse'go**), który potwierdził jego prawidłowość.

*) Josse, Z. 1927, str. 379.

Te równania opiewają, że jeżeli przy zastosowaniu dysz stosunek ciśnień $\beta < \beta_1$, to przez dyszę przepływa największa możliwa ilość pary.

Ściśle biorąc μ i β zależą nietylko od q lecz również od rozmiarów dyszy, wewnętrznej powierzchni przelotu dyszy i t. p.

Spółczynnik χ według Fornera możemy obliczać według wzoru:

$$\chi = 198{,}5 + 1{,}5 p_1 \quad . \quad . \quad . \quad (38)$$

który możemy stosować dla pary w granicach:

$$p_1 = \text{od } 1 \text{ do } 4 \; ata$$

$$t_1 = \text{od } 180 \text{ do } 240^0 \; C.$$

W najwęższym przekroju powinna przytem ustalić się prędkość dźwięku. *Forner* określił spółczynnik χ w granicach 199 do 204, wtedy gdy *Josse*, który postawił sobie za zadanie sprawdzenie pomiarów *Fornera*, znalazł średnią wartość dla $\chi = 207{,}2$ z uchyleniami $\pm$ 0,5%. *Josse* wykonał doświadczenia nad trzema dyszami d_m = 84, 160 i 216 *mm* średnicy ze stożkiem rozwarcia 10% oraz odpowiednio

$$q = 4 \text{ i } 4{,}6$$

i

$$p_1 = 1{,}3 \text{ do } 3{,}1 \; at.$$

Doświadczenia wykonano z parą przegrzaną.

Wspomniane doświadczenia potwierdzają bardzo znaczną dokładność pomiarów ilości pary za pomocą dysz, która dochodzi według *Josse*'go do $\pm$ 0,5%.

Przekrój F_m dla danej ilości pary G_m obliczamy według wzoru:

$$G_m = 0{,}5 \, F_m \, p_1 \, (1{,}158 + 0{,}01 p_1 - 0{,}001 \, t_1) \quad (39)$$

w *kg/godz*, gdzie F_m mierzymy w mm^2 oraz p_1 w kg/cm^2. Dla celów praktycznych możemy wyraz

$$a = 0{,}5 \, (1{,}158 + 0{,}01 \, p_1 - 0{,}001 \; t_1)$$

obliczyć dla różnych ciśnień i temperatur pary i rezultat ująć w formie wykresu (rys. 17). W tym wykresie podajemy na osi odciętych wielkości p_1, na osi rzędnych wielkości

$$\frac{G_m}{p_1 \, F_m} = \frac{kg}{godz. \; ata. \; mm^2}$$

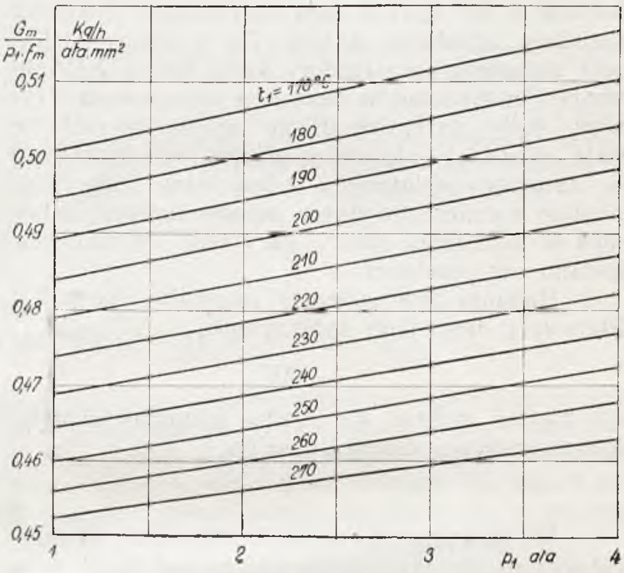
które są podane w zależności od parametru t_1. Dla obliczenia ilości pary *kg/godz* należy liczbę pobraną z tego wykresu dla danych warunków pomnożyć tylko przez p_1 w *ata* i F_m w mm^2.

Stosowanie dysz do pomiaru ilości pary ma tę dogodność, że jesteśmy niezależni od przebiegu krzywej χ nawet dla małych różnic ciśnień. Wzór (37) rozwiązany względem q

$$q = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta - 0{,}545}{0{,}455} \right)^2}$$

daje nam możność dla dopuszczalnego stosunku ciśnień obliczyć stosunek przekrojów $q = F_m : F_2$ oraz z równania (39) obliczyć dla danej ilości i stanu pary przekrój F_m dyszy i następnie ją skonstruować.

Forner wzorcował swe dysze zapomocą przyboru*), w którym starał się prędkość dolotową c_1 zniszczyć, aby móc z możliwie największą dokładnością zastosować dla tego przypadku wyprowadzony wzór. Jeżeli przy pomiarach z pewnych przyczyn nie będziemy mogli



Rys. 17.

pójść w ślady *Fornera* bądź to z powodu niedopuszczalności niszczenia części energji pary bądź to z powodu braku odpowiednich przyrządów, możemy użyć wzór (24), mierząc wyżej opisanym sposobem zapomocą zgiętej rurki (rurki Pitot'a) ogólne ciśnienie p_{og} zamiast statycznego p_1

W końcu chciałbym jeszcze zwrócić uwagę na pomiary ilości pary, zużywanej w turbinie, posługując się wyłącznie dyszami I stopnia. Znana jest właściwość turbiny, że w stosunku do ilości przepływającej pary turbina zachowuje się podobnie jak dysza*):

$$G = C_1 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}$$

gdzie p_1 i v_1 są wielkościami charakteryzującemi stan pary między zaworem dławiącym i pierw-

---

*) Z. 1919; str. 76.

*) Deinlein, Zur Dampfturbinentheorie, str. 93.

szym stopniem kierownic, przyczem stała turbiny c_1 jest niezależna od:

1) obciążenia,
2) ilości obrotów
3) wewnętrznego spółczynnika sprawności
4) jakości, pary, zasilającej turbinę.

Stała turbiny C_1, określona zapomocą jednego doświadczenia, daje nam możność na zasadzie jakiegobądź stanu pary za zaworem regulacyjnym p_1, v_1, określić odpowiednią ilość zużytej pary. Jeżeli natomiast turbina posiada jako pierwszy stopień dysze (turbiny z I stopniem Curtisa, Elektra, Laval), w których para, rozprężając się, przekracza stosunek krytyczny, wtedy możemy te dysze użyć do określenia zużytej ilości pary, stosując równanie (13). Pomiary, wykonane w ten sposób dają dostatecznie dokładne rezultaty. Badania autora (7 i 8 lutego 1928), nad zużyciem pary turbiny firmy Melms & Pfenninger, ustawionej w zakładzie zdrojowym Krynicy, były przeprowadzone w ten sposób, że parę mierzono zapomocą otworu, wbudowanego w rurociąg wylotowy i jednocześnie przez dokładnie wymierzone dysze samej turbiny. Różnica w określeniu ilości pary temi dwoma sposobami nie przekraczała 1%.

Badania *Schindlera* *) określiły dla turbin Pierwszej Brneńskiej spółczynnik

$$\varkappa - 208$$

co bardzo dobrze się zgadza z niedawno ustalonym spółczynnikiem Josse'go.

* * *

W powyższym artykule starałem się ująć całokształt obecnych doświadczeń nad problemem stosowania kryz spiętrzających, otworów i dysz do pomiarów ilości pary wodnej. Dla celów pomiarowych, gdzie jest dopuszczalna dokładność pomiarów do $\pm$ 2%, stosujemy kryzy spiętrzające, które mają te niegodność, że wymagają dokładnego wzorcowania. O ile jest wymagana większa dokładność w pomiarach (około $\pm$ 1%) stosujemy otwory z zaokrąglonemi brzegami wlotowemi. Do korzystania z tych przyrządów musimy znać tylko jeden spółczynnik $\varkappa$, który jest wielkością stałą o ile $p_2 : p_1 \leq 0{,}545$, wzgl. 0,574. Jeżeli tak duża różnica ciśnień jest niedopuszczalna, to dla określenia ilości pary jest nam konieczna znajomość przebiegu $\varkappa$ jako funkcji $p_2 : p_1$, co wnosi pewną niepewność w obliczenia. W celu uniknięcia tego, stosujemy dysze, które dają możność dla stosunkowo małych różnic ciśnień posługiwania się stałym spółczynnikiem $\varkappa$. Podane są wzory, któremi możemy posługiwać się w celu określenia stosunku przekrojów $q = F_m : F_2$ dla danej różnicy ciśnień.

W końcu wskazałem na możność określenia ilości pary posługując się wbudowanemi w turbiny dyszami pierwszego stopnia.

*) Z. T. 1911, str. 357

Literatura.

Arlt, Messung grosser Luftmengen mittels mehrer Düsen, Z. 1912, str. 1588 Forschungsarbeiten № 115.

Bachman, Beitrag zur Messung von Luftmengen. Dissert., 1912, Darmstadt.

Bäckström, Grundlegende Regeln für die Dampfmessung nach der Sauflanschmethode (w języku szwedzkitm)

Bendeman, Über den Ausfluss des Wasserdampfes, Forschungsarbeiten № 49.

Deinlein, Zur Dampturbinentheorie, Dissert., 1909, München.

Forner, Messung des Dampfverbrauches mittels stark erweiterten Messdüsen, Z. 1919, str. 74.

E. Höhn, Berichte des Schweizer. Vereines von Dampfkesselbesitzern, 1920.

Jordan, Mitteilungen der Wärmestelle, № 76.

Kröner, Versuche über Strömungen in stark erweiterten Kanälen, Forschungsarbeiten № 222.

Müller, Messungen von Gasmengen mit der Drosselscheibe. Forschungsarbeiten № 49.

Pflaum, Beitrag zur Mengenmessung strömenden Dampfes mittels Stauringen, Forschungsarbeiten № 298.

Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren, 1925.

Schüle, Technische Thermodynamik

Schindler, Eine einfache Methode zur Bestimmung des Dampfverbrauches von Dampfturbinen, Z. f. d. g. T. 1911, str. 356.

Schultze, Betriebsmässige Dampfverbrauchskontrolle an Turbinen, Z. f. d. g. T. 1912, str. 442.

Seufert, Über Dampfmessung. Hauptstelle für Wärmewirtschaft. V. d. I. 1920.

B. B. C. Mitteilungen 1926.

Z. d. V. d. I. 1928.

Z. f. d. g. T. 1919.

KRONIKA TECHNICZNA.

1. WYBUCH ZBIORNIKA W KIELCACH.

Dnia 29 sierpnia b. r. o godz. 10 przed południem eksplodował znajdujący się pod ciśnieniem zbiornik ustawiony w pracowni farbiarskiej Szymona Strawczyńskiego w Kielcach, przy ul. św. Aleksandra 4, powodując śmierć żony właściciela pracowni i raniąc niebezpiecznie chłopca, który zmarł w kilka godzin po wypadku. Lekko raniony został również sam właściciel. Dokładny opis eksplozji i określenie przypuszczalnej przyczyny wybuchu podamy w jednym z najbliższych zeszytów „Techniki Cieplnej“ Tu zaznaczymy, że zbiornik o którym mowa nie znajdował się pod dozorem Stowarzyszenia Dozoru Kotłów.

R. M.

KOMUNIKATY STOWARZYSZENIA DOZORU KOTŁÓW W WARSZAWIE.

ZMIANA § 45 STATUTU STOWARZYSZENIA DOZORU KOTŁÓW W WARSZAWIE.

Na mocy pisma Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 11 września 1928 r. Nr. PA. 2191., została zatwierdzona zmiana statutu Stowarzyszenia w ten sposób, że przewidziane w § 45 statutu fundusze Stowarzyszenia tworzą się także z wpisowego od nowozgłoszonych kotłów. Paragraf 45 statutu otrzymuje zatem brzmienie następujące:

„Fundusze Stowarzyszenia tworzą się z opłat członkowskich, wpisowego od nowozgłoszonych kotłów, opłat za specjalne usługi personelu technicznego Stowarzyszenia, z ofiar i innych wpływów przypadkowych. Fundusze te przeznaczone są na pokrycie wydatków, związanych z działalnością Stowarzyszenia“.

LISTY DO REDAKCJI.

W SPRAWIE ZAWORÓW PAROWYCH POMIĘDZY KOTŁEM A PRZEGRZEWACZEM.

Szanowny Panie Redaktorze!

W przepisach kotłowych z dn. 8 listopada 1921 r. istnieje § 11, który w punkcie 1 przewiduje konieczność zaworu lub zasuwy parowej, umieszczonej jaknajbliżej kotła. Nakaz zupełnie zrozumiały. Redakcja jego jest bardzo dobra, gdyż pozwala organom Stow. Dozoru Kotłów każdorazowo uwzględnić techniczne warunki pracy określonego typu kotła przy komentowaniu pojęcia „jaknajbliżej kotła“.

Projekt nowych przepisów odbiera możność przystosowania tego rozumnego wymagania do warunków pracy nowoczesnych większych jednostek kotłowych i wskazuje wyraźnie, że zawór lub zasuwa parowa musi być umieszczona bezpośrednio na króćcu zbiornika pary kotła. Kierunek, w jakim idzie nowy projekt przepisów, jest zupełnie jasny i jakkolwiek projekt nie jest zatwierdzony jeszcze, wszelka samodzielność organów dozoru kotłów w tym zakresie jest już uniemożliwiona.

Stawiam sprawę wyraźnie: przedmiotem sporu są kotły, z których cała para nie może być pobierana inaczej, jak przez przegrzewacz. W kotłach takich zawór lub zasuwa parowa powinna być umieszczona bezpośrednio za przegrzewaczem i do tego jedynego przyrządu, odcinającego parę z kotła, należałoby się ograniczyć. Warunki obsługi, bezpieczeństwo przegrzewacza, unikanie zbytecznych strat dławienia wymagają takiego układu.

Nie znam ani jednego motywu, któryby usprawiedliwiał w takim typie kotła potrzebę zaworu pomiędzy zbiornikiem pary i przegrzewaczem. Chodzą natomiast wieści, że w analogicznych wypadkach organy Dozoru Kotłów, skrępowane kierunkiem nowych przepisów, wskazują zainteresowanym właścicielom kotłów w jaki sposób zabezpieczyć zbyteczne zawory, aby nigdy nie mogły być zamykane.

Jako zarządzający kotłownią, w której nowoustawiony kocioł dojrzał do tego sporu chcę wiedzieć to, do czego nie mogłem dojść drogą wywiadów i rozważań własnych, t. j. czy zawór na króćcu zbiornika pary w kotle, z którego cała para pobierana może być wyłącznie przez przegrzewacz, w dodatku przez przegrzewacz, nie nad ani poza rurami, lecz pomiędzy rzędami rur wodnych nad paleniskiem, czy zawór taki jest dla dobra kotła, czy też z jego szkodą.

Przepisy kotłowe redagowane są niewątpliwie przy bezpośrednim udziale Stowarzyszenia Dozoru Kotłów. „Technika Cieplna“, jako organ tego Stowarzyszenia najlepiej może wyjaśnić intencje i motywy przepisu o zaworach przy kotłach wzmiankowanego typu.

Należy unikać fałszywego kompromisu: zawór założyć, ponieważ tego żądają przepisy, zawór unieszkodliwić, ponieważ tego wymagają techniczne warunki dobrej i bezpiecznej pracy kotła.

Przy takim kompromisie właściciele kotłów ponoszą zbyteczny wydatek na zawory, dla wysokiej prężności pary dość kosztowne, niepotrzebnie mają stałe straty przez dławienie pary, no i autorytet przepisów nic na tem nie zyskuje.

Łączę wyrazy głębokiego szacunku z jakim pozostaję

A. Wysokiński, inż.